



Original Article

Formation and Evolution of Sandy Island in Front of the Thu Bon River Mouth, Quang Nam Province

Vu Van Phai¹, Ngo Van Liem^{1,*}, Pham Hoang Hai², Vu Thi Thanh Ha¹,
Tran Van Binh³, Pham Thi Phuong Nga¹, Nguyen Thu Nhung²

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

³Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology
1 Cau Da, Nha Trang, Khanh Hoa, Vietnam

Received 16 December 2022

Revised 08 April 2023; Accepted 20 April 2023

Abstract: The main objective of this paper is to investigate the mechanism of formation and evolution of a river mouth island in front of Cua Dai - a mouth of Vu Gia - Thu Bon river system. The combination of coastal morphodynamic analysis with remote sensing, mapping and GIS methods has shown that the formation and evolution of this island depends on a long-term and complex interaction between the dynamics of the Vu Gia - Thu Bon river system and the coastal littoral, including the Cu Lao Cham archipelago. This process has three stages: i) The formation of river mouth bar; ii) The formation of island in front of the river mouth; and iii) The deformation of island morphology in front of the river mouth. The materials that formed Cua Dai island are not only carried out by the Vu Gia - Thu Bon river system, but also from longshore sediment due to coastal and estuary erosion, mainly from the northern part of Cua Dai. Based on the interaction between material factors (river and longshore sediments) and energy (sea and river dynamics), the evolution of the river mouth bar in front of the Cua Dai island may follow one of two trends: i) The Cua Dai island will gradually move closer to the north shore of Cua Dai, erodes over time, then disappear, assuming no major flood in the Vu Gia - Thu Bon river system and wave and flow regimes are as normal as in the period before 2016; or ii) The Cua Dai island will continue to exist and change if there is an increase in climate change, especially extreme events such as storms, floods, and sea level rise.

Keywords: River mouth bar, River mouth island, Vu Gia - Thu Bon river system, Cua Dai, Quang Nam.

* Corresponding author.

E-mail address: liemnv@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnu.ees.4199>

Sự hình thành và tiến hóa cồn cát phía ngoài cửa sông Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam

Vũ Văn Phái¹, Ngô Văn Liêm^{1,*}, Phạm Hoàng Hải², Vũ Thị Thanh Hà¹,
Trần Văn Bình³, Phạm Thị Phương Nga¹, Nguyễn Thu Nhung²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
1 Cầu Đá, Nha Trang, Khánh Hoà, Việt Nam

Nhận ngày 16 tháng 12 năm 2022

Chỉnh sửa ngày 08 tháng 4 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 20 tháng 4 năm 2023

Tóm tắt: Mục tiêu chính của bài báo này là làm sáng tỏ cơ chế hình thành và tiến hóa của cồn cát phía ngoài Cửa Đại - cửa đổ ra biển của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. Kết hợp phân tích hình thái động lực bờ biển với phương pháp viễn thám, bản đồ và GIS cho thấy, sự hình thành và tiến hóa của cồn Cửa Đại phụ thuộc vào môi trường tác động lâu dài và phức tạp giữa động lực của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn và vùng biển phía ngoài, bao gồm cả quần đảo Cù Lao Chàm. Quá trình này xảy ra theo 3 giai đoạn: i) Hình thành cồn ngầm phía trước cửa sông; ii) Đảo trước cửa sông; và iii) Biến dạng hình thái đảo trước cửa sông. Nguồn vật chất hình thành cồn Cửa Đại ngoài do hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra còn do di chuyển trầm tích dọc bờ (xói lở bờ biển và cửa sông), chủ yếu từ đoạn bờ phía bắc Cửa Đại. Dựa vào môi trường tác động giữa 2 yếu tố vật chất (trầm tích sông và trầm tích dọc bờ) và năng lượng (động lực biển và dòng chảy sông) sơ bộ sự tiến hóa của cồn cát phía ngoài Cửa Đại có thể theo xu thế hoặc: i) Di chuyển dần vào gần bờ phía bắc Cửa Đại và bị xói lở theo thời gian rồi biến mất với điều kiện không có những trận lũ lớn ở hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, chế độ sóng và dòng chảy bình thường như thời kỳ trước năm 2016; hoặc ii) Đảo cát sẽ tiếp tục tồn tại và ít biến đổi nếu có sự gia tăng của hiện tượng biến đổi khí hậu làm xuất hiện nhiều hơn các hiện tượng cực đoan như bão, lũ, mực nước biển dâng cao.

Từ khóa: Cồn ngầm cửa sông, Cồn cửa sông, Hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, Cửa Đại, Quảng Nam.

1. Mở đầu

Cồn cửa sông (*river mouth island*) là một đơn vị địa mạo bờ biển độc đáo, đồng thời cũng là một cảnh quan có ý nghĩa quan trọng đối với đời sống xã hội. Sự hình thành và phát triển của

nó có thể được chia thành ba giai đoạn: i) Giai đoạn đầu cồn ngập nước được gọi là cồn ngầm cửa sông (*river mouth bar*); ii) Giai đoạn hai là lúc nhô lên khỏi mặt nước được gọi là cồn cửa sông (*river mouth island*); và iii) Giai đoạn ba là sự biến đổi hình thái của nó dưới tác động của

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: liemnv@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4199>

một số nhân tố động lực sông và biển, được duy trì, tăng hoặc giảm quy mô và có thể bị biến mất. Như vậy, sự hình thành và tiến hóa của cồn cửa sông theo thời gian và không gian là một quá trình rất phức tạp, từ lâu đã được các nhà nghiên cứu đặc biệt quan tâm.

Ngay từ giữa thế kỷ 20, Mikhailov (1966) đã chỉ ra rằng: “Các cồn ngầm cửa sông được hình thành trong các môi trường địa mạo và thủy văn khác nhau” [1], đồng thời, [1] cũng đưa ra một số nhân tố chính ảnh hưởng đến sự hình thành cồn cửa sông bao gồm lưu lượng nước và trầm tích của sông, hoạt động của sóng và dòng triều lên - xuống. Sau đó, theo hình dạng cồn, cường độ và hướng tác động của sóng, dòng triều và dòng sông, Coleman và Wright (1979) đã chia ra 5 loại cồn ngầm cửa sông. Cùng với đó, các tác giả này cũng chia ra 6 loại thân cát phân bố ở các cửa sông châu thổ hiện đại [2].

Trong hai thập kỷ vừa qua, có khá nhiều công trình nghiên cứu về sự hình thành các cồn cửa sông, trong đó có những công trình tập trung phân tích vai trò của sông và những công trình phân tích vai trò của sóng. Chẳng hạn, ở Trung Quốc, Wei (2002) đã nghiên cứu sự hình thành các cồn cửa sông của sông Dương Tử (Trường Giang) - một con sông có tải lượng trầm tích lớn nhất trên thế giới (trung bình hơn 1 tỷ tấn/năm), có độ lớn thủy triều là 2,67 m và ảnh hưởng sâu vào đất liền tới 200-300 km [3]. Fan và nnk (2007) lại nghiên cứu sự hình thành các cồn cửa sông và sự tiến triển của đồng bằng châu thổ sông Hoàng Hà từ năm 1855 đến gần đây trong mối liên quan với lưu lượng dòng chảy sông, tải lượng phù sa bị giảm đáng kể và với chế độ thủy động lực bờ biển, đặc biệt từ năm 1976 đến nay [4]. Khi nghiên cứu mối quan hệ giữa lưu lượng sông và sóng, Gao và nnk (2018) đã xác định ba chế độ hình thành và phát triển cồn cửa sông: i) Cồn ngầm cửa sông hình thành và ổn định lâu dài; ii) Cồn ngầm cửa sông hình thành rồi sau đó bị phá hủy; và iii) Không hình thành cồn ngầm [5]. Khi nghiên cứu về ảnh hưởng của sóng đến sự phát triển của cồn cửa sông, Nardin và Fagherazzi (2012) đã đưa ra những nhận xét sau: i) Sóng cao với chu kỳ dài ngăn cản sự hình thành cồn ngầm cửa sông; ii) Sóng có độ cao

trung bình tiến đến bờ dưới một góc nhọn dẫn đến cồn ngầm bên cạnh; trong khi sóng nhỏ không thể làm lệch hướng dòng sông tạo ra cồn ngầm trung tâm; và iii) Góc sóng từ 45° đến 60° là ít thuận lợi nhất cho sự hình thành cồn ngầm, có khả năng tạo ra một cửa sông bị lệch [6].

Ở Việt Nam, trong những năm trước đây cũng đã có một số nghiên cứu về quá trình tiến hóa của châu thổ Sông Hồng và sông Mê Công được gắn liền với sự hình thành các cồn cửa sông cũng như các thành tạo tích tụ khác liên quan tới mối tương tác giữa sông và biển [7-9]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trên đều tập trung chủ yếu cho sự hình thành cồn cửa sông và một số dạng tích tụ khác trong quá trình tiến hóa của các châu thổ (delta) và nguồn cung cấp vật liệu trầm tích cho các thành tạo tích tụ này đều do sông cung cấp, mà không đề cập đến hoặc xem nhẹ các nguồn trầm tích khác, ví dụ do xói lở bờ biển hoặc được đưa lên từ đáy biển gần bờ do tác động của sóng.

Đối với khu vực Cửa Đại của sông Thu Bồn (trong hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn), sau khi xuất hiện cồn cát vào cuối năm 2017, đã có một số công trình nghiên cứu về nguyên nhân hình thành của nó [10-12]. Đa số các học giả đều cho rằng, những trận lũ xảy ra vào các năm 2016 - 2017 là nguyên nhân xuất hiện của cồn cát phía ngoài Cửa Đại [11, 12]. Tuy nhiên, cũng có một số nghiên cứu cho rằng, vai trò của động lực biển chiếm ưu thế [10]. Gần đây nhất là công trình nghiên cứu của Dien và nnk (2020) với tiêu đề “Cơ chế hình thành và phát triển đảo mới trước cửa sông Thu Bồn” cho rằng, sự hình thành đảo mới là do sự kết hợp của 2 yếu tố: i) Lượng trầm tích khổng lồ của sông sau các trận lũ năm 2016 và 2017; và ii) Tác động của sóng lên đỉnh thềm cát nông ở phía trước cửa sông, sau đó làm biến đổi hình thái của đảo cát [10]. Như vậy, các tác giả này cũng chỉ thừa nhận nguồn trầm tích để tạo thành đảo mới phía ngoài cửa sông Thu Bồn là do sông cung cấp. Vậy nguồn trầm tích nào giúp duy trì thềm cát nông ở phía trước Cửa Đại và vai trò của di chuyển trầm tích dọc bờ như thế nào? Hay tại sao ở miền Trung có trên 50 cửa sông, trong đó có hàng chục cửa sông lớn, nhưng chỉ có Cửa Đại của hệ thống sông Vu Gia - Thu

Bồn xuất hiện cồn nổi? Có phải cồn này đột ngột xuất hiện hay phải trải qua quá trình lâu dài? Bài báo này sẽ góp phần làm sáng tỏ các vấn đề nêu trên.

2. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở tài liệu

Bài báo được hoàn thành trên cơ sở tài liệu từ các nguồn khác nhau, trong đó các nguồn tài liệu chính bao gồm: các ảnh viễn thám Landsat 5 của các năm 1988, 1989 và 1990 (Hình 1); ảnh Sentinel 2 của các năm 2019, 2020 (Hình 2b, c) và các ảnh vệ tinh phân giải cao được tích hợp trên phần mềm Google Earth từ năm 2015 đến năm 2022 (Hình 2a, d; Hình 4). Các ảnh này được chọn vào các thời gian khác nhau, từ khi cồn Cửa Đại chưa nhô lên khỏi mặt nước đến khi nhô lên khỏi mặt nước, cho thấy sự biến đổi về hình dạng và kích thước của chúng theo thời gian. Các bản đồ địa hình được sử dụng là bản đồ địa hình UTM tỷ lệ 1:50.000 được thành lập vào năm 1984: tờ Hội An, ký hiệu 6640 I; bản đồ độ sâu tỷ lệ 1:100.000 do Trung tâm Địa chất và Khoáng sản biển (nay là Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên - Môi trường Biển khu vực phía Bắc) thuộc Tổng cục Biển và Hải đảo, Bộ Tài nguyên và Môi trường đo đạc vào năm 2012. Ngoài ra, để có cái nhìn toàn diện về quá trình hình thành và tiến hóa của cồn cát phía ngoài Cửa Đại hiện nay, chúng tôi còn sử dụng các kết quả nghiên cứu về đặc điểm hình thái và các quá trình địa mạo ở vùng cửa sông Thu Bồn từ những năm 1990 cho đến nay [13-17].

2.2. Cơ sở phương pháp luận và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Cơ sở phương pháp luận

Tiếp cận hệ thống là cơ sở phương pháp luận trong tất cả các nghiên cứu về tự nhiên và xã hội. Vùng ven biển cửa sông Thu Bồn được xem là một hệ địa mạo bờ biển mở với nhiều nhân tố tương tác với nhau và thường xuyên biến đổi theo thời gian và không gian. Ba nhóm nhân tố chủ đạo trong hệ thống này gồm: i) Động lực

sông (lưu lượng nước và tải lượng trầm tích được đưa ra biển); ii) Động lực biển (nền địa hình ban đầu của vùng bờ biển, sóng và dòng chảy do sóng sinh ra, thủy triều); và iii) Các hoạt động của con người cả trên lưu vực hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn lẫn ở vùng bờ biển (xây dựng các công trình thủy lợi trên lưu vực sông, công trình dân sinh, khai thác khoáng sản ở bờ biển, xây dựng các cấu trúc bảo vệ bờ biển,...).

2.2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, 2 phương pháp chính được sử dụng là: i) Phân tích hình thái động lực bờ biển; và ii) Phân tích viễn thám, bản đồ và GIS.

Phương pháp phân tích hình thái động lực bờ biển: hình thái động lực bờ biển được định nghĩa là sự điều chỉnh lẫn nhau giữa địa hình và động lực chất lỏng, kéo theo sự vận chuyển trầm tích. Động lực chất lỏng sinh ra vận chuyển trầm tích, dẫn đến thay đổi hình thái theo thời gian. Đến lượt mình, sự biến đổi hình thái liên tục lại làm thay đổi các điều kiện biên đối với động lực chất lỏng, tạo ra thay đổi các kiểu vận chuyển trầm tích tiếp theo. Phân tích hình thái động lực bờ biển dựa trên mối liên hệ “nhân - quả” về sự tương tác giữa các hợp phần trong một hệ thống tự nhiên - xã hội là một trong những phương pháp rất phổ biến và mang lại hiệu quả cao trong nghiên cứu địa mạo bờ biển. Trong một hệ thống địa mạo bờ biển, phân tích hình thái động lực được dựa trên 4 nguyên tắc cơ bản là: tính đồng dạng (*Informity*), đột biến ngưỡng (*Threshold change*), phản ứng liên hoàn (*Complexity response*) và thời gian (*Time*).

Phương pháp viễn thám, bản đồ và GIS: các bản đồ địa hình và các bức ảnh viễn thám là nguồn tài liệu cung cấp những thông tin khá chính xác về địa hình bờ biển ở thời điểm thành lập hoặc bay chụp. Phân tích các thể hệ ảnh khác nhau cho thấy được xu thế biến động địa hình bờ trong một khoảng thời gian nào đó. Sử dụng phương pháp này cho phép xây dựng sơ đồ biến động đường bờ biển trong những khoảng thời gian khác nhau (tùy thuộc vào dữ liệu bản đồ và sự đa dạng các nguồn ảnh, cảnh ảnh viễn thám).

Dữ liệu bản đồ và ảnh viễn thám được phân tích, tính toán bởi các phần mềm GIS. Dữ liệu

đường bờ theo bản đồ địa hình 1:50.000, xuất bản năm 1984 được số hóa thủ công bằng phần mềm Arcgis v.10.8. Các đường bờ theo ảnh vệ tinh Landsat 5 (năm 1988, 1989 và 1990) được xác định bán tự động bằng phương pháp “Modified Normalized Difference Water Index” (MNDWI) theo Xu (2006) [18]. Các đường bờ từ năm 2015 đến 2022 sau khi được số hóa thủ công trên phần mềm Google Earth đã được chuyển định dạng “.kmz” thành “.shp” bằng phần mềm FME 2020. Tất cả các dữ liệu được chuẩn hóa, hiệu chỉnh và tính toán bằng phần mềm Arcgis v.10.8.

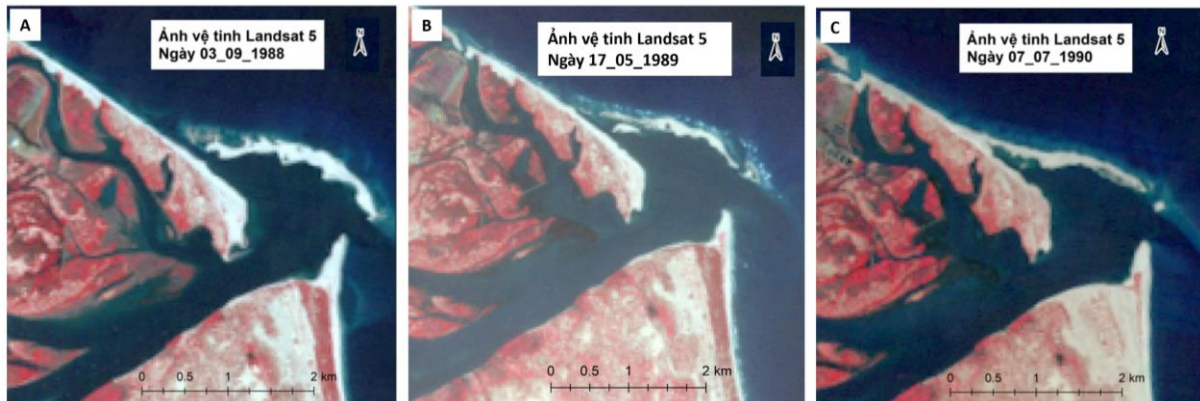
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự xuất hiện và tồn tại cồn cát phía ngoài Cửa Đại

Trên cơ sở tài liệu ảnh vệ tinh cho thấy, từ năm 1988 đến năm 2018 (khoảng 30 năm), đã có 2 lần cồn cát được hình thành và quan sát được

rõ ràng nhất ở phía ngoài Cửa Đại: lần thứ nhất xuất hiện vào đầu năm 1988 và biến mất sau đó ít năm; lần thứ hai xuất hiện vào cuối năm 2017, đầu năm 2018 và vẫn đang tồn tại. Khoảng thời gian xuất hiện cồn cửa sông cách nhau đúng 30 năm, mặc dù tiền đề cho sự hình thành chúng đã có trước đó.

Cồn cát phía ngoài Cửa Đại xuất hiện *lần thứ nhất* vào tháng 2 năm 1988. Ngay khi xuất hiện, cồn đã có dạng cung lõm về hướng đông bắc, có chiều dài khoảng 2.000 m và chiều rộng khoảng 200 m. Đầu mút phía tây bắc chỉ cách bờ phía bắc Cửa Đại khoảng 250 m, trong khi đầu mút đông nam cách mũi An Lương (ngay nay, mũi An Lương đã biến mất do xói lở) ở phía nam Cửa Đại tới 500 m, còn tại đỉnh đoạn cong của cồn cách trung tâm Cửa Đại xa nhất chỉ gần 1 km. Vào các năm sau đó, cồn cát dịch chuyển dần vào phía bờ, đầu phía tây bắc được nối vào bờ tháng 7/1990 (Hình 1) và dần dần biến mất hoàn toàn do xói lở vào các năm 1992-1993. Sau năm 1995 thì cồn này biến mất.



Hình 1. Sự xuất hiện và biến đổi cồn cát trước Cửa Đại lần thứ nhất được thể hiện trên ảnh vệ tinh Landsat 5: (a) tháng 9/1988, (b) tháng 5/1989 và (c) tháng 7/1990.

Lần thứ hai cồn cát xuất hiện vào cuối năm 2017, nhưng thực sự rõ rệt từ tháng 2 năm 2018 (Hình 2a). Lúc mới xuất hiện, cồn cát kéo dài theo phương tây bắc - đông nam với chiều dài khoảng 750 m, cách vị trí nhô ra xa nhất trên bờ biển phía bắc khoảng 2.500 m và cách bờ phía nam (đoạn bờ có mũi An Lương đã bị phá hủy) khoảng 1.500 m. Sau đó, cồn cát tiếp tục thay đổi hình dạng. Đến tháng 6/2019 (Hình 2b), cồn cát

có chiều dài khoảng 1.000 m và chiều rộng khoảng 150 m, hơi có dạng vòng cung, song vị trí so với đường bờ ít bị thay đổi. Vào tháng 3/2021 (Hình 2c), cồn cát có dạng lõm về phía đông bắc rõ ràng hơn, với chiều dài khoảng 1.500 m và chiều rộng lớn nhất ở phía đông nam khoảng 250 m; mút phía tây bắc cách cùng điểm năm 2019 và 2018 khoảng 1.400 m, còn mút phía đông nam cách bờ khoảng 1.600 m. Vào tháng

7/2021 (Hình 2d), cồn cát vẫn có dạng cung, nhưng độ cong lớn hơn, chiều dài chỉ còn khoảng 1.350 m, và chiều rộng ở phía đông nam khoảng hơn 200 m; mũi tây bắc cồn cách bờ 1.360 m,

còn mũi phía đông nam cách bờ 1.600 m. Cồn cát vẫn tiếp tục bị thay đổi cả về hình dạng và kích thước (Hình 2).



Hình 2. Sự xuất hiện và biến đổi cồn cát trước Cửa Đại lần thứ hai: (a) ngày 17/2/2018, (b) ngày 7/6/2019, (c) ngày 6/3/2021 và (d) ngày 27/7/2021 (Nguồn: Google Earth).

3.2. Quá trình tiến hóa cồn

Sự hình thành và biến đổi cồn cát phía ngoài Cửa Đại hoàn toàn khác với cơ chế hình thành các cồn trước cửa sông châu thổ (*delta*). Trong đa số trường hợp, các cồn cửa sông châu thổ được hình thành trong phạm vi vùng biển trước cửa sông (*Приустьевое взморье - avandelta*) nông với nguồn trầm tích chủ yếu do sông cung cấp [19], ví dụ, hệ thống Cồn Vành, Cồn Lu trước cửa Ba Lạt thuộc hệ thống Sông Hồng. Trong khi cồn cát phía ngoài Cửa Đại lại được hình thành trong vùng biển trước cửa sông sâu. Cho đến nay vẫn còn ý kiến khác nhau về sự hình thành cồn cát phía ngoài Cửa Đại [10-12], bởi vì mỗi nhà khoa học hay nhà quản lý đều có cái nhìn khác nhau theo lĩnh vực của mình quan tâm. Thực chất, đây là một quá trình tự nhiên phức tạp chịu tác động tương hỗ của các quá trình động lực sông và biển.

Theo lý thuyết hệ thống, cồn cát phía ngoài Cửa Đại là một hệ thống nằm trong đới tương tác đất liền - biển. Cũng như mọi hiện tượng tự nhiên khác, sự xuất hiện cồn cát này cũng phải đảm bảo được các điều kiện cần và đủ. Nghiên cứu sẽ tập trung thảo luận 3 vấn đề: i) Vì sao cồn cát lại chỉ xuất hiện ở phía ngoài Cửa Đại của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn chứ không phải ở các cửa sông khác (điều kiện cần)?; ii) Nguồn trầm tích nào cung cấp cho quá trình hình thành cồn (điều

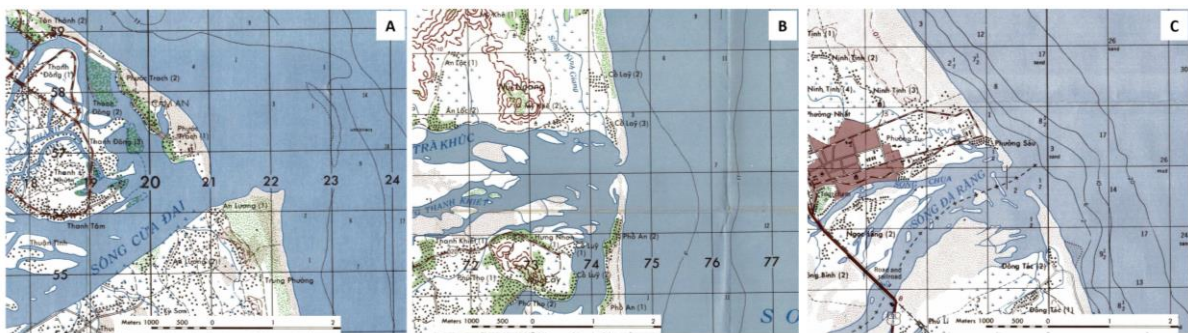
kiện đủ 1)?; và iii) Có phải cồn cát đột ngột xuất hiện hay không (thời gian - điều kiện đủ 2)?

3.2.1. Khu vực Cửa Đại có nhiều điều kiện thuận lợi để hình thành cồn nổi

Cửa Đại có vị trí và địa hình khác biệt với hầu hết các cửa sông khu vực miền Trung: từ Hình 1 và Hình 2 đều cho thấy cồn cát phía ngoài Cửa Đại nằm cách bờ xa nhất là 500 m (lần thứ nhất) đến 2.500 m (lần thứ hai). Cửa Đại - cửa chính của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn đổ ra Biển Đông, là đặc biệt nhất trong số tất cả các cửa sông ở miền Trung. Trên phong chung, toàn bộ bờ biển miền Trung (từ Thanh Hóa đến Bình Thuận) và cả bờ biển của tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu của miền Đông Nam Bộ, đều thuộc loại bờ biển do sóng chiếm ưu thế (*wave-dominated coast*) hoặc gần đây có tác giả gọi là bờ biển chịu ảnh hưởng của sóng (*wave-influenced coast*) [20]. Nhưng điều đặc biệt ở đây là, cách cửa sông về phía đông bắc khoảng 15 km có quần đảo Cù Lao Chàm với 6 hòn đảo (không kể Hòn Ông nằm xa về phía đông nam cách cửa trên 30 km). Quần đảo này án ngữ trên vùng biển có chiều dài theo phương tây bắc - đông nam khoảng 13 km. Vì thế, sóng hướng đông bắc và đông - đông bắc (phương vị từ 26° đến 75°) ít có khả năng tác động mạnh đến cửa sông. Mặt khác, hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn lại là một trong những hệ thống sông lớn ở Nam Trung Bộ (chỉ sau sông

Đà Nẵng), có lưu vực nằm trên một trong những trung tâm mưa lớn nhất của nước ta (trung tâm mưa Trà My) [21], nên lưu lượng dòng chảy qua cửa sông khá lớn, đặc biệt vào mùa lũ (trong các tháng X, XI và XII). Nhờ có 2 điều kiện này nên hình thái đường bờ biển ở hai phía cửa sông có xu hướng nhô ra phía biển (điều này thấy rõ ràng nhất trên bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000 xuất bản năm 1984) (Hình 3a). Trong khi đó ở các nơi khác, bờ biển ở hai phía cửa sông và cửa sông đều tạo thành đường thẳng do tác động mạnh của

sóng, như cửa Sông Gianh, Nhật Lệ (Quảng Bình), Cửa Việt (Quảng Trị), cửa Cồ Lũy (Quảng Ngãi) (Hình 3b), cửa Đà Diễn (Phú Yên) (Hình 3c),... Điều này cho thấy ảnh hưởng khác nhau giữa động lực sông và biển trong điều kiện được che chắn (Cửa Đại) và mở hoàn toàn với biển khơi (cửa Cồ Lũy và cửa Đà Diễn). Một điều khác biệt nữa là hầu hết các lòng sông ở dải ven biển miền Trung đều kết thúc ngay tại bờ biển chứ không kéo dài ra biển như hệ thống Sông Hồng và sông Mê Công.



Hình 3. Hình thái đường bờ biển - cửa sông được thể hiện trên bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000 khu vực: (a) Cửa Đại (1984), (b) cửa Cồ Lũy (1984) và (c) cửa Đà Diễn (1969)

Hơn nữa, do được quần đảo Cù Lao Chàm che chắn nên vùng biển Cửa Đại nông hơn so với vùng biển trước các cửa sông khác ở miền Trung. Hầu hết vùng biển phía trong quần đảo Cù Lao Chàm chỉ có độ sâu không quá 20 m, trừ một vài lạch nước sâu nằm ngay phía sau đảo Cù Lao Chàm và các lạch sâu nằm giữa các đảo (giữa Hòn Giai và Hòn Mô). Điều này khác hẳn với vùng biển trước cửa Đà Diễn (độ sâu lớn hơn 20 m chỉ cách cửa khoảng 1,5 km), cũng như trước cửa Cồ Lũy (độ sâu lớn hơn 20 m cách cửa khoảng 6,5 km).

Chế độ khí hậu - thủy văn thuận lợi

Toàn bộ lưu vực hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn có chế độ khí hậu hai mùa rõ rệt: mùa khô thường kéo dài từ tháng II đến tháng VIII và mùa mưa kéo dài từ tháng X đến tháng XI. Trên toàn bộ lưu vực có tổng lượng mưa hàng năm khá lớn. Theo Xuân và nkk (2012), lượng mưa trung bình trong giai đoạn 1977 - 2008 trên toàn hệ thống sông là 2.970 mm, tương ứng với tổng lượng nước là 30,7 km³, tập trung chủ yếu vào mùa

mưa (chiếm 60 - 75% tổng lượng cả năm), trong khi tổng lượng dòng chảy năm trung bình là 21,9 km³ [21]. Bởi vậy, chế độ thủy văn cũng có 2 mùa: mùa lũ và mùa cạn thường gần trùng với các tháng mùa mưa và mùa khô, nhưng có độ trễ nhất định.

Điều kiện hải văn thuận lợi

Điều kiện hải văn có ảnh hưởng lớn nhất đến sự hình thành và biến đổi các cồn cát phía ngoài cửa sông trong khu vực này là sóng và dòng chảy do sóng sinh ra (còn gọi là dòng chảy ven bờ hay dòng chảy gần bờ). Cũng như khí hậu và thủy văn, sóng biển ở đây chủ yếu là sóng do gió sinh ra, vì vậy, chế độ sóng cũng mang tính mùa rõ rệt, còn gọi là sóng chế độ (khác với sóng bão và sóng lừng): mùa sóng hướng bắc và đông bắc và mùa sóng hướng đông nam là hai hướng sóng chính có tác động đến bờ biển khu vực Cửa Đại và lân cận. Dựa vào số liệu đo sóng tại Trạm Hải văn Sơn Trà (thành phố Đà Nẵng) năm 2008, [22] đã tính toán tần suất và độ cao sóng (> 0,75 m, nghĩa là từ sóng cấp II trở lên) của các hướng chủ

đạo như sau: bắc và đông bắc là 36,17% và đông nam là 19,57%. Trong khi đó, Hoài và nnk (2018) đã sử dụng mô hình Tomavac tính toán cho 8 năm (1/1/2009 - 31/12/2016) ở vùng biển Cửa Đại cho kết quả: vào thời kỳ gió mùa đông bắc, tần suất sóng hướng đông bắc và đông - đông bắc chiếm tới 70%, còn vào mùa gió mùa tây nam, tần suất sóng hướng đông - đông nam là 56,52% [23]. Nếu tính trung bình cả năm thì sóng hướng đông bắc và đông - đông bắc chiếm 46,55%, còn hướng đông - đông nam khoảng 32,91%. Độ cao sóng lớn hơn 1 m trong mùa gió đông bắc chiếm 38,47%, trong khi mùa gió tây nam chỉ đạt 4,97%; độ cao sóng cực đại trong mùa gió đông bắc đạt tới 4,42 m, còn mùa gió tây nam chỉ đạt 2,0 m; độ cao sóng trung bình cả năm là 0,71 m.

Như vậy, các đặc trưng về vị trí địa lý, địa hình, khí hậu, thủy - hải văn nêu trên chính là điều kiện cần cho việc tích tụ vật liệu ở phía ngoài cửa sông khi có đủ nguồn trầm tích và yếu tố thời gian.

3.2.2. Nguồn trầm tích cung cấp cho sự hình thành cồn cát

Hầu hết các nghiên cứu đã được thực hiện [10-12] đều cho rằng, nguồn trầm tích cung cấp cho sự hình thành cồn cát trước Cửa Đại là do hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra, đặc biệt là vào mùa lũ. Tuy nhiên, nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, có 2 nguồn trầm tích chính được cung cấp cho quá trình hình thành cồn cát phía ngoài Cửa Đại: i) Do hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra; và ii) Do di chuyển trầm tích dọc bờ, chủ yếu từ đoạn bờ phía bắc cửa sông.

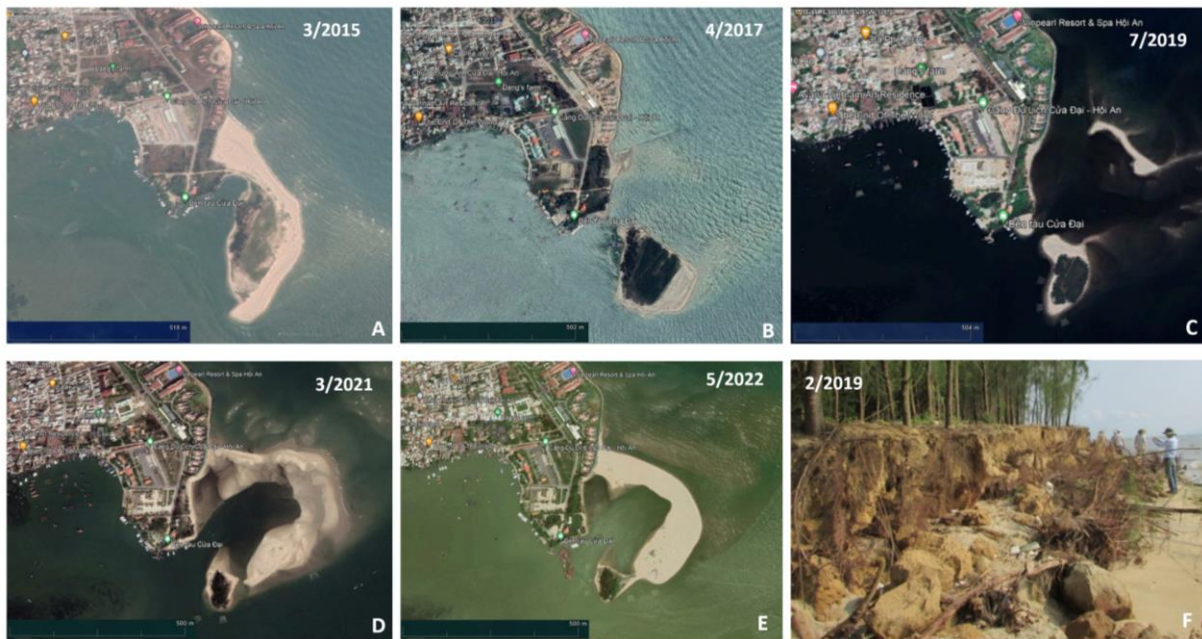
Về nguồn trầm tích do sông Thu Bồn mang ra biển: theo số liệu tại hai trạm thủy văn Thành Mỹ (trên sông Vu Gia) và Nông Sơn (trên sông Thu Bồn), trước năm 1996, khi hiện tượng chặt phá rừng cũng như xây dựng công trình thủy điện chưa tác động mạnh lên lưu vực, thì tải lượng bùn cát của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn còn khá thấp: khoảng 2 triệu tấn/năm [13]. Kết quả nghiên cứu gần đây của Hà và Coynel (2019) cho thấy, trong giai đoạn từ năm 1996 đến năm 2018, khối lượng bùn cát lơ lửng vận chuyển hàng năm bởi hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn dao động

manh với các giá trị từ 0,23 đến 5,22 triệu tấn/năm [24]. Khối lượng bùn cát trung bình vận chuyển bởi sông Thu Bồn từ 1996 đến 2018 qua Trạm Nông Sơn là 2,07 triệu tấn/năm. Tuy nhiên, giá trị này có sự khác biệt giữa thời kỳ trước (1996-2010) và sau (2010-2018) khi có đập thủy điện Sông Tranh 2 là: 2,59 triệu tấn/năm (mùa khô: 0,19 và mùa mưa: 2,4); và 1,11 triệu tấn (mùa khô: 0,11 và mùa mưa: ~ 1,0). Trong khi đó, theo Bình (2018) (trích dẫn theo số liệu của Đài Khí tượng Thủy văn Trung Trung Bộ năm 2016) thì tải lượng bùn cát trung bình nhỏ nhất tại Trạm Thành Mỹ là 157,22 tấn/ngày, và tại Trạm Nông Sơn là 594,33 tấn/ngày; tương ứng, trung bình cao nhất là 1801,74 và 2477,22 tấn/ngày [25]. Từ những số liệu này có thể tính ra tổng tải lượng bùn cát qua hai trạm thủy văn Thành Mỹ và Nông Sơn đạt giá trị nhỏ nhất là 274.315,75 tấn/năm và lớn nhất là 1.561.820,41 tấn/năm. Trước đó, nghiên cứu của Doan và Cát (2011) dựa trên số liệu đo đạc tại Trạm Nông Sơn và Trạm Thành Mỹ trong giai đoạn 1975-2010 đã đưa ra tổng lượng bùn cát được mang ra cửa sông là 1,5 triệu tấn/năm và cho rằng lượng bùn cát này đã giảm khoảng 30% sau khi xây dựng các đập thủy điện trên lưu vực, chỉ còn lại khoảng 1,0 triệu tấn/năm để đưa vào tính biến động đường bờ biển ở khu vực Cửa Đại [26]. Từ 3 kết quả nghiên cứu trên đây, có thể nhận thấy rằng từ khi có các công trình thủy điện lớn (A Vương, Sông Bung 4, Đăk Mi 4, Sông Tranh 2,...), trên lưu vực hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, thì tải lượng bùn cát được mang ra biển chỉ đạt khoảng 1 triệu tấn/năm (giai đoạn 2011-2018) [24].

Trong khi đó, tại “Hội thảo khoa học về bãi cát bồi tại Cửa Đại, Hội An” vào đầu tháng 4/2019, nhiều nhà khoa học [11, 12] đều cho rằng, lượng bùn cát của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra biển hàng năm là 2,5-2,8 triệu tấn và chỉ riêng trận lũ đầu tháng 11/2017, lượng bùn cát được mang ra biển tới 3,12 triệu tấn (chiếm 55% tổng lượng bùn cát của năm 2017). Như vậy, nếu tính cả năm 2017, thì lượng bùn cát do hệ thống sông này mang ra biển tới 5,67 triệu tấn, gấp đôi giá trị trung bình nhiều năm!?

Ngay cả giá trị trung bình nhiều năm được đưa ra trong Hội thảo này cũng quá lớn so với các nghiên cứu khác [22, 24-26] đã công bố. Trong bài viết này, chúng tôi sử dụng kết quả của Hà và Coynel (2019) [24] và Đoan và Cát (2011) [26] về giá trị bùn cát trung bình do hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra biển qua Cửa Đại là khoảng 1 triệu tấn/năm. Đây là kết quả có

sử dụng chuỗi số liệu đo nhiều năm của các trạm thủy văn trên hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn và đã tính đến tác động của việc xây dựng hệ thống các hồ, đập thủy trên hệ thống sông này. Còn lượng bùn cát mang ra trong các trận lũ năm 2016 - 2017 thì chấp nhận giá trị như đã được báo cáo tại Hội thảo nêu trên.



Hình 4. Biến đổi địa hình doi cát phía bắc Cửa Đại từ 2015 đến 2022: (a) Doi cát chưa bị chọc thủng (tháng 3/2015), (b) Doi cát bị chọc thủng thành một đảo vào tháng 4/2017, (c) Đảo liên tục bị xói lở làm giảm diện tích vào tháng 7/2019, (d, e) Doi cát được tái hình thành (Nguồn: Google Earth), (f) Đảo bị xói lở tạo với vách đứng cao khoảng 1,7 m (ảnh Vũ Văn Phái, tháng 2/2019).

Nguồn trầm tích do di chuyển dọc bờ: đây là nguồn trầm tích được giải phóng do xói lở bờ biển ở phía bắc Cửa Đại. Như đã biết, từ cuối những năm 1970 - 1980, bờ biển phía bắc Cửa Đại đã bắt đầu bị xói lở [13, 14, 27]. Đặc biệt từ đầu thập niên 1990 đến nay, hiện tượng xói lở bờ biển ở đây càng ngày càng được mở rộng cả về quy mô lẫn cường độ. Đến nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu về xói lở bờ biển khu vực Cửa Đại bằng các phương pháp khác nhau, từ phân tích bản đồ địa hình và ảnh viễn thám qua các thời kỳ khác nhau; đo đạc trắc diện bãi, mô hình, tính toán cân cân trầm tích,... Ví dụ, trong công trình [28], trên cơ sở các dữ liệu của năm 1988

(lấy đại diện cho lũ là tháng XI và cạn là tháng VII) và sử dụng mô hình MIKE21FM, đã tính được tổng lượng trầm tích được vận chuyển đến vùng biển phía ngoài Cửa Đại là 28.035,31 m³ (từ phía bắc xuống vào tháng XI - qua mặt cắt số 2, cách cửa sông 520 m về phía bắc là: 22.978,96 m³ và từ phía nam lên vào tháng VII qua mặt cắt số 3, cách cửa sông 100 m về phía nam là: 5.056,35 m³; nếu lấy tỷ trọng là 1,15, thì sẽ có 33.240,6 tấn bùn cát đưa vào vùng biển trước Cửa Đại trong năm 1998). Trong khi đó, dựa trên phương pháp tính cân cân trầm tích bằng đường cong biểu đồ độ sâu được xây dựng theo các mặt cắt, Bình và Mậu (2016) đã tiến hành đo lập 4 mặt cắt bãi biển

ở phía bắc Cửa Đại 3 lần trong 1 năm (7/2013, 12/2013 và 6/2014) trên chiều dài bờ biển là 4.000 m và cho kết quả là 217.420 m³ [16]. Hầu hết lượng trầm tích này đều được di chuyển về phía đông nam (về phía Cửa Đại). Nếu tính trên suốt chiều dài bờ biển phía bắc Cửa Đại thuộc tỉnh Quảng Nam (khoảng 15 km), thì nhận được giá trị tương ứng với kết quả của nhiều nghiên cứu được Phó Chủ tịch tỉnh Quảng Nam, Lê Trí Thành trích dẫn tại Hội thảo tháng 4/2019 ở Trường Đại học Thủy lợi là khoảng 350.000 m³, bởi vì cường độ xói lở giảm dần về phía tây bắc (theo [28], tốc độ xói lở bờ biển xã Điện Ngọc, giáp với thành phố Đà Nẵng, chỉ vài m/năm). Nếu lấy tỷ trọng của cát là 1,3 tấn/m³ (Binh, 2018 [25]), thì sẽ được 0,455 triệu tấn/năm.

Ngoài ra, hiện tượng xói lở doi cát phía bắc Cửa Đại cũng cung cấp một phần trầm tích cho vùng biển trước cửa sông. Tại thời điểm tháng 3/2015, doi cát có diện tích khoảng 6,73 ha (Hình 4a), đến 4/2017, phần doi cát từ Bến tàu Cửa Đại đến cửa sông đã bị chọc thủng thành một đảo nhỏ

có diện tích khoảng 3,45 ha (Hình 4b). Đảo nhỏ này liên tục bị xói lở tạo vách cao 1,7 m (Hình 4f). Đến tháng 7/2019, diện tích chỉ còn khoảng 1,45 ha (Hình 4c) và tháng 3/2021 diện tích còn 0,93 ha (Hình 4d). Nếu giả sử phần doi cát này bị xói với độ sâu 4 m và phân nổi là 1,7 m thì tổng chiều dày cát mất đi là khoảng 5,7 m. Như vậy, trong vòng hơn 6 năm (từ tháng 3/2015 đến tháng 3/2021), chỉ riêng xói lở ở đây đã giải phóng ra khoảng 330.600 m³ trầm tích, tương đương với khoảng 430.000 tấn (nếu lấy tỉ trọng của cát trung bình là 1,3 tấn/m³) (Bảng 1) để cung cấp cho vùng biển phía ngoài Cửa Đại; trung bình là khoảng 71.000 tấn/năm.

Lượng vật liệu trầm tích do xói lở bờ biển nêu trên chủ yếu được tích tụ ở phía ngoài Cửa Đại. Chỉ có một phần không đáng kể được đưa vào để tích tụ ở phía trong cửa sông. Điều này khác hẳn với cửa Đà Diên ở Phú Yên và cửa Cồ Lũy ở Quảng Ngãi: vùng nước phía trong cửa sông liên tục bị bồi lấp với khối lượng lớn, gây khó khăn cho việc ra vào qua cửa sông.

Bảng 1. Khối lượng cát do xói lở doi cát phía bắc Cửa Đại từ 2015 - 2021

TT	Ngày	Diện tích doi cát (m ²)	Diện tích xói lở (m ²)	Độ cao xói lở (ước định) (m)	Khối lượng cát bị xói	
					(m ³)	(tấn)
1	15/03/2015	67.262	-	-	-	-
2	10/04/2017	34.485	32.777	5,7	186.828,9	242.877,6
3	15/07/2019	14.532	19.953	5,7	113.732,1	147.851,7
4	06/03/2021	9.260	5.272	5,7	30.050,4	39.065,5
Tổng		-	58.002	-	330.611,4	429.794,8

Tóm lại, từ việc tính toán, tổng hợp và phân tích các kết quả nghiên cứu trước đây thì tổng lượng trầm tích trung bình hàng năm được đưa tới vùng biển trước Cửa Đại khoảng 1,5 triệu tấn/năm (gồm 1 triệu tấn do sông đưa ra; 0,455 triệu tấn do xói lở bờ biển bắc Cửa Đại và 0,071 triệu tấn do xói lở doi cát bắc Cửa Đại) và có thể tăng lên vào thời kỳ có lũ sông lớn. Vậy toàn bộ lượng vật liệu trầm tích do sông và di chuyển dọc bờ này đi về đâu? Từ các kết quả nêu trên cho thấy, hầu hết lượng vật liệu này đều được tích tụ ở phía ngoài Cửa Đại và chủ yếu là cát, còn số ít vật liệu mịn hơn (bột - sét có kích thước nhỏ hơn 0,01 mm) được đưa đi xa hơn. Điều này được chứng minh, trước hết, bởi sự nông dần của vùng

biển này và kết quả cuối cùng là một đảo nhỏ cấu tạo bằng cát được nhô lên khỏi mặt nước ở phía ngoài Cửa Đại vào các năm 1988 và 2018, sau khi có sự gia tăng lượng trầm tích đột ngột, như đã nói ở trên.

3.2.3. Cồn cát trải qua một quá trình lâu dài

Sự xuất hiện của cồn cát phía ngoài Cửa Đại đã trải qua một quá trình tương tác lâu dài giữa các nhân tố động lực sông và biển theo quy luật tiến hóa hình thái động lực của vùng cửa sông ven biển. Trên cơ sở phân tích và so sánh các tài liệu hiện có (bản đồ địa hình, bản đồ độ sâu, ảnh viễn thám,...) có thể nhận thấy quá trình hình thành và tiến hóa đảo cát phía trước Cửa Đại xảy

ra theo 3 pha: i) Hình thành cồn ngầm phía trước cửa sông; ii) Đảo trước cửa sông; và iii) Biến dạng hình thái đảo cửa sông.

Pha hình thành cồn ngầm phía trước cửa sông. Trước khi hình thành cồn ngầm, phía ngoài Cửa Đại đã có một thềm cát tương đối rộng, được phân bố trong khoảng độ sâu từ vài mét đến dưới 10 m và chuyển xuống độ sâu 20 m bằng một sườn dốc. Trên bề mặt thềm cát này xuất hiện một cồn ngầm dạng lưỡi liềm nằm ở độ sâu 3-5 m, có mặt cong lồi ra phía biển, cách cửa sông khoảng 2 km và kéo dài khoảng 1,5 km theo hướng vuông góc với cửa sông. Các đặc điểm này quan sát được trên bản đồ địa hình UTM tỷ lệ 1:50.000 được xuất bản năm 1984 (xem Hình 3a). Sự hình thành cồn ngầm dạng lưỡi liềm là đặc trưng rất phổ biến ở phía ngoài các cửa sông đổ vào một vùng biển có động lực sóng chiếm ưu thế và hướng sóng tới bờ dưới một góc gần với góc vuông, như ở cửa Đà Diễn và cửa Cổ Lũy (xem Hình 3b, c). Trong điều kiện như vậy, vật liệu do sông mang ra (chủ yếu trong mùa lũ) hầu hết được tích tụ ngay ở vùng biển trước cửa sông mà không bị di chuyển dọc bờ và làm nông dần vùng biển trước cửa sông. Quá trình này diễn ra liên tục và chậm chạp nếu không có sự kiện đột biến về động lực mạnh lên (làm thu hẹp thêm ngầm, thậm chí phá hủy cồn ngầm dạng lưỡi liềm), hoặc lượng trầm tích tăng lên đáng kể (làm mở rộng thêm ngầm, hoặc làm cho cồn ngầm tăng thêm về kích thước và có thể nhô lên khỏi mặt nước thành đảo trước cửa sông).

Mặt khác, trên cơ sở phân tích hình thái - động lực dựa vào các tài liệu bản đồ hoặc ảnh hàng không vào những năm trước 1988 đều cho thấy, hầu như lượng trầm tích di chuyển dọc bờ có rất ít hoặc không đáng kể, nên có thể chỉ có thêm cát ngầm với chiều rộng không lớn. Thậm chí cả sau trận lũ lịch sử năm Giáp Thìn (1964), cũng không có tài liệu nào viết về sự biến đổi hình thái vùng Cửa Đại. Nguyên nhân có lẽ do thời kỳ trước năm 1988, tỷ lệ che phủ thực vật trên lưu vực hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn còn cao khiến cho lớp thổ nhưỡng chưa bị xói mòn mạnh và bờ biển, đặc biệt là ở phía bắc Cửa Đại, chưa bị xói lở, nên lượng trầm tích được chuyển tới phía ngoài Cửa Đại chưa nhiều.

Pha hình thành đảo trước cửa sông. Qua phân tích các tài liệu về vùng cửa sông Thu Bồn từ trước đến nay chỉ ghi nhận được 2 lần xuất hiện đảo nổi ở phía ngoài Cửa Đại như đã nêu ở trên. Cả hai lần này đều liên quan đến lũ sông. Hay nói cách khác, lũ sông với lượng trầm tích lớn đột biến được mang ra biển là điều kiện đủ giúp cho cồn ngầm được bồi tụ mạnh mẽ và nhanh chóng để nhô lên thành đảo với điều kiện hoạt động của nhân tố động lực biển (chủ yếu là sóng) yếu. Sự xuất hiện đảo lần thứ nhất vào năm 1988 cũng có liên quan tới lũ, nhưng dòng chảy lũ ở cửa sông không mạnh nên đảo nhô lên ở gần cửa sông hơn (chỉ gần 1 km), trong khi có khối lượng trầm tích khá lớn di chuyển dọc bờ từ phía tây bắc về phía Cửa Đại lại được thể hiện rất rõ qua sự phân bố vị trí của đảo. Điều đó cho thấy, bờ biển phía tây bắc Cửa Đại đã bị xói lở và giải phóng một lượng trầm tích đáng kể. Trong khi năm 1988 lại là năm có lưu lượng dòng chảy lũ nhỏ nhất (11,3 m³/s tại Trạm Thành Mỹ) [21].

Lần xuất hiện đảo thứ hai xảy ra vào năm 2018. Trước đó, vào năm 2017 là năm có nhiều bão lũ lớn đã tác động đến lãnh thổ Việt Nam và được gọi là “Năm của những kỷ lục thiên tai”. Đó là trận bão Doksuri vào trung tuần tháng 9/2017 đã tác động đến bờ biển từ Hải Phòng đến Quảng Nam và gây ra xói lở bờ biển mạnh mẽ ở nhiều nơi, trong đó có bờ biển phía bắc Cửa Đại [29]. Tiếp theo là trận lũ xảy ra vào đầu tháng 11/2017, chỉ kém trận lũ năm 1964 về mực nước, nhưng lại mang ra biển một khối lượng trầm tích rất lớn (3,12 triệu tấn, tương đương 2,71 triệu m³) [11, 12], trong lúc động lực biển (sóng và dòng chảy) không mạnh. Do đó, cồn ngầm được bồi tụ và nhô lên thành đảo. Do dòng nước lũ của sông mạnh nên đã đẩy vị trí đảo nổi cách xa cửa sông tới 2,5 km (xem Hình 2).

Pha biến dạng hình thái đảo trước cửa sông. Quá trình biến dạng hoặc tiến hóa về vị trí, hình thái và kích thước đảo trước cửa sông cũng phụ thuộc rất nhiều vào mối quan hệ giữa động lực biển (chủ yếu là tác động của sóng) và động lực dòng chảy sông. Vào nửa đầu thập niên 90 của thế kỷ XX, không xảy ra trận lũ lớn nào trên lưu vực hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, do đó lượng trầm tích cung cấp cho biển không tăng

đột biến, ngược lại có phần giảm đi vào mùa khô (ví dụ mùa khô năm 1993, 1995). Vì thế, dưới tác động của sóng, đảo cát lần thứ nhất giảm dần

kích thước và dịch chuyển vào phía bờ và bị biến mất vào sau năm 1995.



Hình 5. Xói lở ở bờ biển phía bắc Cửa Đại, Phường Cửa Đại, Hội An (Ảnh N. V. Liêm, tháng 4/2022).

Ngược lại, ở lần nổi lên thứ hai, đảo cát ban đầu có kích thước rất nhỏ. Nhưng theo thời gian, kích thước của đảo đã tăng lên (xem Hình 2), còn vị trí và khoảng cách tới cửa sông của đảo hầu như ít thay đổi. Đường viền quanh đảo trở nên mềm mại hơn dưới tác động của sóng. Lúc đầu, đảo còn nhỏ và có sự phân nhánh, rồi được ví là đảo “Khủng Long” vì có “miệng há to” (Hình 2b), và trở thành một đảo dạng cánh cung lồi về phía đông bắc như hiện nay (Hình 2d). Nguyên nhân có thể do trong mấy năm qua, bão, lũ thường xảy ra ở khu vực này, đặc biệt trong các năm từ 2019 đến nay (tháng 10/2022) nên động lực dòng chảy sông và lượng trầm tích vẫn đủ lớn. Mặt khác, hiện tượng xói lở bờ biển mạnh mẽ xảy ra vào cả mùa khô và khi có bão gây sóng lớn. Trước năm 2017, xói lở mạnh chủ yếu xảy ra trong phạm vi phường Cửa Đại [30]. Nhưng vài năm gần đây (từ 2019-10/2022), bờ biển phía bắc Cửa Đại tiếp tục bị xói lở mạnh và xảy ra trên cả đoạn bờ từ phường Cẩm An về phía bắc (Hình 5), giải phóng ra một lượng trầm tích đáng kể cung cấp cho đảo cát cũng như đáy biển xung quanh nó.

Như vậy, dựa vào mối tương tác giữa 2 yếu tố vật chất (trầm tích sông và trầm tích dọc bờ) và năng lượng (động lực biển và dòng chảy sông) có thể đưa ra nhận xét về xu thế biến động đảo cát phía ngoài Cửa Đại trong những năm tới theo hai kịch bản sau:

- Trường hợp 1: khi đường bờ bị tác động mạnh bằng việc xây bờ kè, kèm theo các biện

pháp phòng chống, hạn chế xói lở bờ; đồng thời trong điều kiện không có lũ lớn, chế độ sóng và dòng chảy bình thường (như các thời kỳ trước năm 2016), khi đó bản chất của hiện tượng có thể hiểu là yếu tố năng lượng lớn hơn yếu tố vật chất. Như vậy, nguồn vật liệu đưa ra từ sông ổn định nhưng không đủ lớn thì đảo cát trong tương lai sẽ di chuyển vào gần bờ (bờ phía bắc Cửa Đại) và dần biến mất (đảo cát bị xói và nguồn vật liệu này sẽ được bù cho sự thiếu hụt trầm tích dọc bờ) nhưng trước Cửa Đại luôn tồn tại cồn ngầm.

- Trường hợp 2: trong điều kiện hiện tượng biến đổi khí hậu xảy ra phức tạp, khiến các hiện tượng cực đoan gia tăng (bão, lũ, mực nước biển dâng,...) hay nói cách khác khi đó động lực biển và sông đều mạnh, nguồn vật liệu từ sông đưa ra lớn; cùng với đó, nếu bờ biển ở khu vực phía bắc Cửa Đại tiếp tục được xây dựng các công trình và bờ kè không hợp lý thì hiện tượng xói lở bờ biển sẽ lan dần về phía bắc Cửa Đại, nơi chưa được xây dựng bờ kè, hoặc sẽ phá hủy các bờ kè kém kiên cố. Tất cả các yếu tố trên giải phóng một nguồn năng lượng cũng như nguồn vật liệu đủ lớn (giống như giai đoạn từ năm 2016 đến nay, 10/2022) thì đảo cát vẫn sẽ tồn tại. Cần phải có những nghiên cứu chi tiết, tính toán cụ thể hơn để dự báo về sự biến đổi của cồn cát cửa sông.

4. Kết luận

Từ các kết quả phân tích ở trên, nghiên cứu có thể rút ra một số kết luận chính sau:

Sự hình thành và tiến hóa của cồn cát phía ngoài Cửa Đại là một hiện tượng tự nhiên, phụ thuộc vào môi trường tác động lâu dài và phức tạp giữa động lực của hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn và vùng biển phía ngoài, bao gồm cả quần đảo Cù Lao Chàm. Quá trình này xảy ra theo 3 giai đoạn: i) Hình thành cồn ngầm phía trước cửa sông; ii) Đảo trước cửa sông; và iii) Biến dạng hình thái đảo trước cửa sông.

Nguồn vật chất hình thành cồn Cửa Đại ngoài do hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn mang ra còn do di chuyển trầm tích dọc bờ (xói lở bờ biển và cửa sông), chủ yếu từ đoạn bờ phía bắc Cửa Đại.

Sự tiến hóa của cồn cát phía ngoài Cửa Đại phụ thuộc vào môi trường tác động giữa 2 yếu tố vật chất (trầm tích sông và trầm tích dọc bờ) và năng lượng (động lực biển và dòng chảy sông). Cồn cát này có thể phát triển theo xu thế: i) Di chuyển dần vào gần bờ phía bắc Cửa Đại và bị xói lở theo thời gian rồi biến mất nếu không có những trận lũ lớn ở hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn và chế độ thủy động lực ven biển (sóng, dòng chảy) diễn ra bình thường như các thời kỳ trước năm 2016; hoặc ii) Tiếp tục tồn tại và ít biến đổi nếu có sự gia tăng của hiện tượng biến đổi khí hậu làm xuất hiện nhiều hơn các hiện tượng cực đoan như bão, lũ, mực nước biển dâng cao.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả gửi lời cảm ơn tới đề tài “Nghiên cứu đánh giá xói lở, bồi tụ, tạo đảo và đề xuất giải pháp tổng thể nhằm ổn định vùng cửa sông Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam”, mã số TNMT.562.08 đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] V. N. Mikhailov, Hydrology and Formation of River-mouth Bars, in Scientific Problems of the Humid Tropical Zone Deltas and Their Implications, UNESCO, Paris, 1966, pp. 59-64.
- [2] J. M. Coleman, L. D. Wright, Modern River Deltas, Process Variability and Sand Bodies, B Deltas - Models to Study, Ed. Nedra, Moscow, 1979, pp. 32-91 (in Russian).
- [3] C. Wei, Mouth Bar Formation in Yangtze River Estuary, Intermediate Report, pp. 43, <https://repository.tudelft.nl>. Prepared for Delft Cluster project 03.03.04, Delft University of Technology, 2002 (accessed on: September 1st, 2022).
- [4] H. Fan, H. Huang, T. Q. Zeng, K. Wang, River Mouth Bar Formation, Riverbed Aggradation and Channel Migration in the Modern Huanghe (Yellow) River Delta, China, Geomorphology, Vol. 74, 2007, pp. 124-136.
- [5] W. Gao, D. Shao, Z. Wang, W. Nardin, W. Yang, T. Sun, B. Cui, Combined Effects of Unsteady River Discharges and Wave Conditions on River Mouth Bar Morphodynamics, Geophysical Research Letters, Vol. 45, No. 23, 2018, <https://doi.org/10.1029/2018GL080447>.
- [6] W. Nardin, S. Fagherazzi, The Effect of Wind Waves on the Development of River Mouth Bars, Geophys. Res. Lett., Vol. 39, 2012, pp. L12607, https://www.researchgate.net/publication/237079990_the_effect_of_wind_waves_on_river_mouth_bars (accessed on: September 1st, 2022).
- [7] V. V. Phai, N. Hoan, N. Hieu, Geomorphological Evolution of the Ba Lat Mouth Area in the Recent Period, VNU. Journal of Science, Nat., Sci., & Tech., T.XVIII, No. 2, 2002, pp. 44-53 (in Vietnamese).
- [8] Z. Pruzak, P. V. Ninh, M. Szmytkiewicz, N. M. Hung, R. Ostrowski, Hydrology and Morphology of Two River Mouth Regions (Temperate Vistula Delta and Subtropical Red River Delta), Oceanologia, Vol. 47, No. 3, 2005, pp. 365-385.
- [9] T. Tamura, Y. Saito, V. L. Nguyen, T. K. O. Ta, M. D. Bateman, D. Matsumoto, S. Yamashita, Origin and Evolution of Inter-distributary Delta Plains: Insight from Mekong River Delta, Geology, Vol. 40, 2012, pp. 303-306.
- [10] D. C. Dien, N. X. Tinh, H. Tanaka, N. T. Viet, Mechanics of Formation and Development of A New Island in Front of Thu Bon River Mouth, Quang Nam Province, Vietnam, in Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser B2 (Coastal Engineering), January, 2020, https://doi.org/10.2208/kaigan.76.2_I_619.
- [11] N. K. Dan, H. C. Hoai, Where did Dinosaur Island-Cua Dai Come From?, Extracted from the Research Results of the Hoi-An Project Funded by Quang Nam Province and AFD Research on the Erosion Process of Hoi An Coast and Measures Protection Measures, Report of the Scientific Conference on

- Sandy Island at Cua Dai, Hoi An, Thuylol University, Hanoi, 2019 (in Vietnamese).
- [12] T. T. Tung et al., Sandy Island in front of Cua Dai - Cause and Mechanism of Formation, Report of the Scientific Conference on Sandy Island at Cua Dai, Hoi An, Thuylol University, Hanoi, 2019 (in Vietnamese).
- [13] V. V. Phai, Geomorphology of the Modern Coastal Area of Central Vietnam, Thesis of Associate Doctor of Science in Geography - Geology, Hanoi, 1996 (in Vietnamese).
- [14] V. V. Phai, D. V. Bao, Geomorphological features of Hoian and its Neighbourhood (Thubon Estuary), Proceedings of International Conference on Ancient Town of Hoian, FL Publ. H., Hanoi, 1992, pp. 55-63.
- [15] U. D. Khanh, V. V. Phai, Characteristics of the River Mouth in Central Vietnam, Collection of Geographical Research Works, Science and Technology Publishing House, Hanoi, 1998 (in Vietnamese).
- [16] T. V. Binh, L. D. Mau, The Change of Topographic Morphology of Beaches and Material Balance Along the Coast of Quang Nam Province, Collection of Marine Research Works, Vol. 22, 2016, pp. 15-28 (in Vietnamese).
- [17] T. V. Binh, L. D. Mau, V. V. Phai, Some Issues of Geomorphology to Serve Coastal Environmental Management of Quang Nam Province, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19, No. 4A, 2019, pp. 79-91, <https://doi.org/10.15625/1859-3097/14599> (in Vietnamese).
- [18] H. Xu, Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery, International Journal of Remote Sensing.
- [19] O. K. Leont'yev, L. G. Nikiforov, G. A. Saf'yanov, Geomorphology of Sea Coasts, Ed. Moscow State University, 1975, 336pp (in Russian).
- [20] E. J. Anthony, Wave Influence in the Construction, Shaping and Destruction of River Deltas: A Review, Marine Geology, Vol. 361, 2015, pp. 53-78.
- [21] T. T. Xuan, H. M. Tuyen, T. Thuc, T. H. Thai, N. K. Dung, Water Resources of Major River Systems in Vietnam, Science and Technics Publishing House, Hanoi, 2012 (in Vietnamese).
- [22] D. Q. Thien, N. T. No, Calculation of Sand Balance for Erosion-filling Study in Quang Nam Coastal Zone, Vietnam Journal of Hydrometeorology, No. 618, 2012, pp. 29-37 (in Vietnamese).
- [23] H. C. Hoai, L. K. Chinh, L. D. Vinh, Wave Climate at Cua Dai-Hoi An Seashore and Its Impact on Beach Erosion, The University of Danang - Journal of Science and Technology, Vol. 11, No. 1, 2018, pp. 31-35 (in Vietnamese).
- [24] D. T. Ha, A. Coynel, Impact of Tranh River 2 Hydroelectric Dam on Sediment Load on the Thu Bon River of Quang Nam Province, UED Journal of Social Sciences, Humanities & Education, Vol. 9, No. 3, 2019, pp. 7-11 (in Vietnamese).
- [25] N. Q. Binh, Assessment of Sediment Load in Upstream of the Vu Gia-Thu Bon River Basin by SWAT Semi Distribution Hydrological Model, Journal of Water Resources & Environmental Engineering, No. 60, 2018, pp. 58-66 (in Vietnamese).
- [26] D. D. Doan, V. M. Cat, Hydrodynamics Research of Thu Bon Estuary (Quang Nam) and Proposal Resolution for Sedimentation Prevention Measure, Creating Waterways and Drainage, The 5th National Conference on Marine Science and Technology, Subcommittee on Meteorology, Hydrology and Marine Dynamics, Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi, Vol. 2, 2011, pp. 81-89 (in Vietnamese).
- [27] N. D. Dy, V. C. Minh, T. Minh, D. V. Tu, D. V. Thuan, M. T. Tan, Types of Coastlines of Vietnam. Subproject Report of the Vietnam-Netherlands Project on Integrated Coastal Zone Management, Institute of Geological Sciences - VAST, Hanoi, 1995 (in Vietnamese).
- [28] D. D. Doan, V. M. Cat, Study on Estuary and Coastal Evolution of Cua Dai (Quang Nam), Journal of Water Resources & Environmental Engineering, Special Issue, 2013, pp. 3-10 (in Vietnamese).
- [29] V. V. Phai, N. V. Liem, Coastal Changes Due to Typhoon No. 10 (Doksuri) in September Proceedings of the 11th National Geographic Conference, Thanh Nien Publishing House, Hanoi, 2017, pp. 85-91 (in Vietnamese).
- [30] N. V. Liem, D. V. Bao, D. K. Bac, N. C. Cuong, P. T. P. Nga, B. Burkhard, G. T. K. Chi, Assessment of Shoreline Changes for Setback Zone Establishment from Son Tra (Da Nang City) to Cua Dai (Hoi An City), Vietnam, Vietnam Journal of Earth Sciences, Vol. 42, No. 4, 2020, pp. 363-383, <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/4/15410>.